

Дослідження можливості використання ультразвуку в технології /борошняних кондитерських виробів

Ю. А. Мирошник, В. Ф. Доценко, Л. О. Шаран, В. В. Цирульнікова

Останнім часом в різних галузях харчової промисловості набули широкого використання нетрадиційні способи обробки сировини та напівфабрикатів. Це сприяє інтенсифікації виробництва, подовженню терміну збереження свіжості нових виробів, дозволяє впроваджувати ресурсо- та енергозберігаючі технології.

Актуальними слід вважати дослідження можливості використання ультразвуку в технології борошняних кондитерських виробів, а саме бісквітів.

Запропоновано технологію збивання меланжу з цукром за допомогою міксера, чаша якого встановлена в ультразвукову ванну, заповнену водою.

Досліджено вплив дії ультразвуку на показники якості піни яєчно-цукрової суміші (піноутворювальну здатність, стійкість піни, її мікроструктуру) та готових бісквітних напівфабрикатів.

Встановлено, що піноутворювальна здатність дослідних зразків з використанням ультразвуку збільшувалась на 35 %. Крім того, максимальне значення піноутворювальної здатності зразку з використанням ультразвуку досягалося за майже у двічі коротший час ніж у контрольного. Порівняльний аналіз стійкості піни після 60 хв вистоявання показав, що найбільш стійкою виявилася система меланж-цукор під дією ультразвуку – 90 %. Визначено, що дія ультразвуку на яєчно-цукрову суміш забезпечила отримання піни, майже з рівномірними однаковими бульбашками невеликого розміру, розташованими близько один до одного.

Встановлено оптимальні параметри збивання яєчно-цукрової суміші бісквітного тіста в полі ультразвуку: потужність ультразвуку – 0,6 кВт, температура води в ультразвуковій ванні – 26 °С, час збивання меланжу з цукром – 6,5 хв.

Доведено, що використання ультразвуку в технології бісквітних напівфабрикатів сприяє: інтенсифікації процесу піноутворення яєчно-цукрової суміші; дає змогу збивати всі компоненти одночасно, що значно спрощує сам процес виробництва бісквітів; підвищенню пористості готових виробів та більш рівномірному розподілу пор

Ключові слова: ультразвук, яєчно-цукрова суміш, піноутворювальна здатність, стійкість піни, бісквітні напівфабрикати

1. Вступ

Борошняні кондитерські вироби (БКВ) набувають все більшої популярності серед різних вікових груп споживачів. Асортимент БКВ різноманітний та налічує більше сотні найменувань. Значну питому вагу серед виробів даної групи займає продукція з бісквітного тіста. Вона відрізняється легкою засвоюваністю, приємним смаком і ароматом, привабливим зовнішнім виглядом.

Бісквітне тісто являє собою складну дисперсну систему, що складається з близько 45 % повітряних пухирців, відокремлених один від одного плівками рідкого дисперсійного середовища, до складу якого входять яйця, цукор і борошно. Саме від розміру та кількості пухирців повітря в тісті залежить структура випеченого напівфабрикату [1].

На формування піноподібної структури бісквітного напівфабрикату в першу чергу впливають: властивості основної сировини, тривалість процесу збивання та механічний вплив на тісто під час його замішування.

Ультразвук (УЗ) досить широко використовується в харчовій промисловості. Встановлено, що ультразвукові коливання здатні змінювати агрегатний стан речовини, диспергувати, емульгувати його, змінювати швидкість дифузії, кристалізації і розчинення речовин, активізувати реакції, інтенсифікувати технологічні процеси. При дослідженні впливу УЗ хвиль на технологічний процес виготовлення харчової продукції спостерігається зниження енерговитрат і трудоемності. З'являється можливість виробництва продуктів харчування з новими споживчими властивостями, покращеною якістю та подовженими термінами зберігання [2].

Основою бісквітного тіста є яєчно-цукрова піна, яка являє собою дисперсну систему, що легко реагує на будь-які зміни в технологічному процесі. При цьому значні зміни можуть відбутися з показниками якості бісквітного тіста, і, як наслідок, з готовим бісквітом. Тому актуальними слід вважати дослідження, можливості використання ультразвуку в технології бісквітних напівфабрикатів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Останнім часом широкого використання у різних галузях харчового промисловості набули УЗ коливання. Відомі застосування УЗ в молочній, м'ясній промисловості, при виробництві напоїв, хліба та кондитерських виробів.

В роботі [3] досліджено зміни мікроструктури міцел йогурту з казеїном під дією УЗ. Експериментальні дані показали, що мікроструктура молочного йогурту, обробленого УЗ протягом 0,5...30 хв мала більше взаємопов'язаних ланцюгів міцел зі зменшенням розмірів частинок. Йогурт мав більш рівномірну та однорідну структуру. До подібних висновків дійшли і вчені [4], що досліджували вплив УЗ на процес приготування йогурту з соєвого молока. Встановлено, що зразки йогурту, оброблені УЗ, мали покращені показники консистенції та текстури гелю, ніж зразки, приготовані за стандартною технологією.

В роботі [5] доведено, що дія УЗ сприяє пришвидшенню процесу вилучення колагену з сухожиля великої рогатої худоби. Ці результати корелюють з дослідженнями, що наведені у роботі [6]. Так, застосування УЗ коливань дозволяє поліпшити якість м'яса, а також прискорити процеси його обробки, підвищити ступінь ніжності м'яса, отриманого з сухожильного м'язу великої рогатої худоби.

В технології безалкогольних напоїв УЗ сприяє інтенсифікації процесу екстракції та поліпшенню органолептичних властивостей напоїв [7]. Встановлено, що оброблений УЗ сік утримує більшу частину поживних речовин, ніж соки отримані за класичними технологіями.

Вченими [8] досліджено позитивний вплив УЗ коливань на реологічні властивості тіста та на якість пшеничного хліба. Дія УЗ призвела до покращення показників водопоглинання, стійкості тіста та розрідження. Хліб, випечений з борошна, обробленого ультразвуком, мав насиченіший колір, рівномірнішу текстур, підвищений питомий об'єм та покращений зовнішній вигляд.

У роботі [9] встановлено, що процес випікання хлібобулочних виробів в УЗ полі значно скорочується порівняно з традиційним способом.

Результати досліджень [10] показали, що УЗ хвилі покращують аерацію капкейків з борошна тритікале. При цьому, покращуються такі параметри, як питомий об'єм та пористість готових виробів.

Науковцями доведено стабілізуючий ефект впливу УЗ коливань на яєчну піну [11]. Встановлено, що обробка УЗ протягом 5 та 10 хв призводила до підвищення антиоксидантної активності та розчинності білку яєць. Стабільність піни, що утворилася з яєчного білку попередньо обробленого УЗ коливання, підвищувалася.

Дослідження безпосереднього впливу УЗ на піноутворювальну здатність та стійкість піни яєчно-цукрової суміші, як основи для бісквітного тіста, та показники якості готових виробів на теперішній час не проводились.

Наведена науково-технічна інформація свідчить про перспективність використання УЗ в технології БКВ, а саме бісквітних напівфабрикатів.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження впливу УЗ на якісні показники готових бісквітних напівфабрикатів. Результати цих досліджень дадуть змогу контролювати і одночасно впливати на основні якісні характеристики готових напівфабрикатів, зокрема, на пористість та питомий об'єм.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити вплив УЗ на піноутворювальну здатність (ПУЗ) яєчно-цукрової суміші бісквітного тіста, стійкість піни та її дисперсність;
- встановити оптимальні технологічні параметри збивання яєчно-цукрової суміші в полі УЗ;
- дослідити показники якості готових виробів, випечених з урахуванням нових параметрів збивання яєчно-цукрової суміші.

4. Матеріали та методи досліджень впливу ультразвуку на показники якості бісквітних напівфабрикатів

Під час проведення досліджень і виробничих випробувань використовували наступну сировину: борошно пшеничне (ДСТУ 46.004-99), цукор-пісок (ДСТУ 4623:2006), яйця курячі харчові (ДСТУ 5028:2008), какао-порошок (ДСТУ 4391:2005) та масло вершкове (ДСТУ 4399:2005).

4. 1. Методи дослідження показників якості піни яєчно-цукрової суміші

Кінетику піноутворення та стійкість піни визначали за методом Лур'є, згідно якого піноутворювальну здатність у певний момент збивання розраховували за формулою:

$$\Pi = 100 \times \frac{h_i - h_0}{h_0}, \quad (1)$$

де Π – піноутворювальна здатність, %; h_0 – початкове значення висоти стовпа яєчної емульсії, мм; h_i – середнє значення висоти піни на i -й хвилині збивання, мм.

Стійкість піни (2) визначали як відношення висоти стовпа піни після вистоявання протягом певного часу до висоти стовпа піни до вистоявання, виражене у %.

$$\text{СП} = \frac{h_i \times 100}{h_{\max}}, \quad (2)$$

де СП – стійкість піни, %; h_{\max} – висота стовпа піни до вистоявання, мм; h_i – висота стовпа піни через 30, 60, 90, 120 хв вистоявання, мм.

Дослідження мікроструктури піни здійснювали за допомогою оптичного мікроскопу.

Для проведення підрахунку і аналізу розміру пухирців повітря, мікрофотографії піни обробляли в програмі ImageJ-2015. На рис. 1 наведено приклад трансформованого зображення мікроструктури піни.

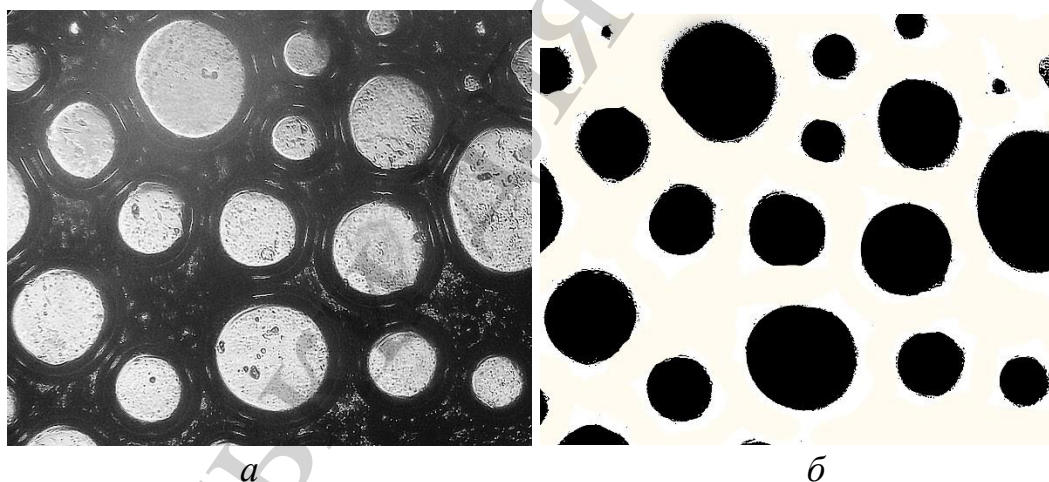


Рис. 1. Мікрофотографії піни яєчного білка: *а* – до обробки в ImageJ-2015; *б* – після обробки в ImageJ-2015

Для кожного дослідного зразка було зроблено по 4 мікрофотографії з різних ділянок предметного скла.

На рис. 2 наведено блок-схему обробки зображення для оцінки морфології пухирців повітря яєчної піни.



Рис. 2. Блок-схема процесу обробки цифрового зображення піни

Для визначення розмірів та інших характеристик пухирців використовували параметр Analyze→Set measurements, встановивши відповідні характеристики (area – площа, shape descriptors – характеристики форми).

4. 2. Методи дослідження показників якості готових бісквітних напівфабрикатів

Дослідження готових виробів проводили для масляних бісквітних напівфабрикатів, контрольний зразок, яких готували холодним способом [12]. Згідно класичної технології жовтки яєць відокремлюють від білків, перетирають жовтки з 50 % цукру-піску. Збивають білки яєць, в кінці збивання додають залишок цукру та змішують яєчно-цукрову суміш.

Пористість готових виробів визначали виробів визначали на приборі Журавльова за відомою методикою [13].

Органолептичну оцінку якості проводили методом експертних оцінок.

4. 3. Методи статистично-математичного оброблення експериментальних даних

Для оброблення результатів досліджень використовувались табличний процесор Excel 2010 і проблемно-орієнтований пакет математичних обчислень Статистика 2010.

5. Результати досліджень можливості використання ультразвуку в технології бісквітних напівфабрикатів

На показники якості збитої яєчно-цукрової суміші впливають властивості яйцепродуктів, їх кількісне співвідношення з цукром, параметри збивання (інтенсивність, тривалість, температура, рН середовища, тощо).

Ступінь збитості яєчної сировини впливає на властивості тіста і такі показники якості випечених напівфабрикатів, як питомий об'єм та пористість. І хоча яєчні продукти є хорошими піноутворювачами, проте, вони мають нестабільні технологічні властивості.

Піни – це дисперсні системи, які складаються з пухирців газу, розмежованих прошарками рідини, тобто дисперсною фазою є газ, а дисперсійним середовищем – рідина. При збиванні яєчних білків під дією механічного впливу утворюється пишна піна, у вигляді повітряних бульбашок, оточених тонкою оболонкою у вигляді плівок з білкового розчину. Характеризують пінні системи за такими показниками, як: ПУЗ, кратність, стабільність та дисперсність.

5. 1. Визначення піноутворювальної здатності яєчно-цукрової суміші

ПУЗ – це кількість піни, що виражається її об'ємом (в см³) або висотою стовпа (в мм), отриманою при дотриманні певних умов впродовж визначеного часу, відповідно до маси білка у вихідному розчині. Серед білків яєць овоглобулін є першочерговим і найбільш ефективним піноутворювачем. Необхідно зазначити, що присутність жовтка, що містить жир, знижує ПУЗ білків.

Оптимальною температурою збивання меланжу вважається діапазон 20–30 °С. Тому на першому етапі досліджень було визначено ПУЗ піни яєчного білка, меланжу та меланжу з додаванням цукру за температури 20 °С (рис. 3).

Отримані дані показали, що найбільше значення ПУЗ має яєчний білок. Меланж з додаванням цукру має найнижчі показники ПУЗ, що можна пояснити підвищенням поверхневого натягу рідкої фази, що і ускладнює її піноутворення. Крім того, зниження показника ПУЗ можна пояснити більш стабільною структурою білка в цукрових розчинах, через що молекули білка гірше розкручуються при адсорбції на межі розділу фаз. Однак в технології бісквітних напівфабрикатів рекомендується збивати меланж та цукор в одну стадію, що істотно спрощує технологічний процес приготування, але знижує якісні показники піни. З огляду літератури [14] передбачувано, що зміни умов збивання меланжу дозволять цей вплив цукру нівелювати.

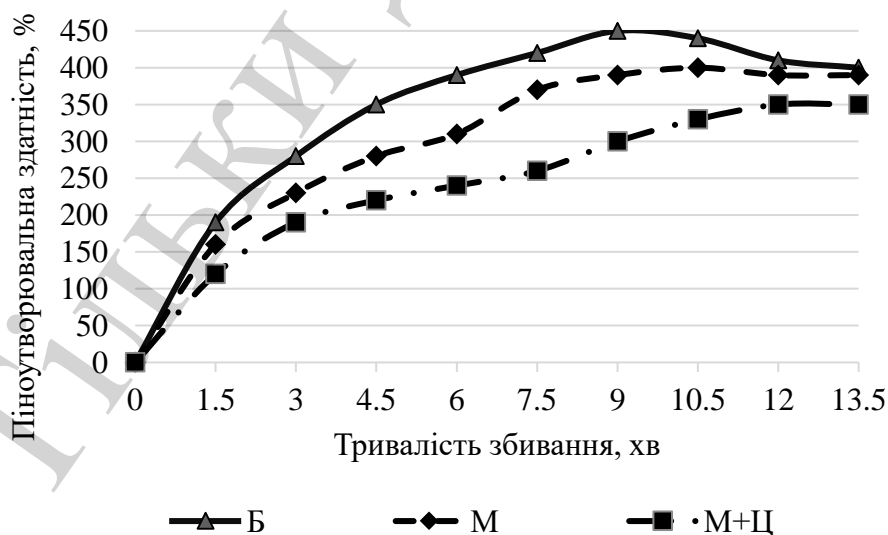


Рис. 3. ПУЗ білків в залежності від тривалості збивання: Б – білок яйця, М – меланж, М+Ц – меланж з додаванням цукру

Керувати процесом піноутворення можна за допомогою впливу на умови формування міжфазного адсорбційного шару. Є певний взаємозв'язок між процесом формування міжфазного адсорбційного шару і режимом збивання суміші: швидкістю, тривалістю збивання, формою робочого органу та умовами збивання.

5. 2. Результати досліджень залежності піноутворювальної здатності білків від дії ультразвуку

Перспективним напрямом дослідження в напрямку удосконалення технології бісквітних напівфабрикатів є використання УЗ ванн. Нині ринок професійного технологічного устаткування досить в широкому асортименті пропонує прилади з генераторами УЗ.

Для постановки досліду використовували УЗ ванну (виробництва ООО «Титан технікс») з регульованою потужністю 0,4–0,8 кВт. Збивання компонентів яєчно-цукрової суміші проводили за допомогою кухонного міксера Zelmer, чаша якого встановлювалася в УЗ ванну, заповнену водою (рис. 4). Всі інші параметри збивання залишалися незмінними.

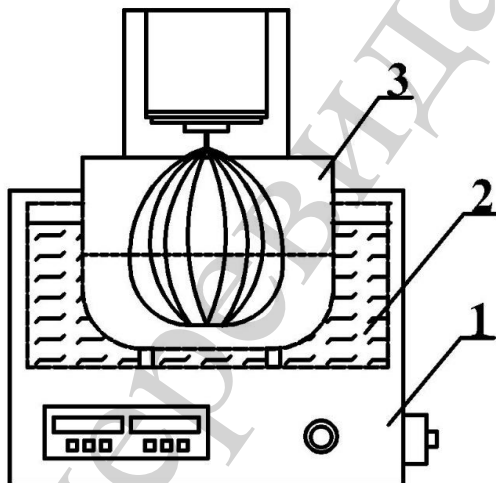


Рис. 4. Схема установки для збивання яєчно-цукрової суміші з системою УЗ ванни: 1 – УЗ ванна (корпус), 2 – робоче середовище УЗ ванни, заповнене водою, 3 – чаша міксера

В УЗ полі розвиваються значні акустичні течії. Тому вплив УЗ на середовище породжує специфічні ефекти: фізичні, хімічні, та біологічні. Серед них кавітація, звукокапілярний ефект, диспергування, емульгування, дегазація, знезараження, локальний нагрів і багато інших.

Вплив УЗ хвиль пов'язаний в першу чергу з розвитком такого ефекту, як акустична кавітація, що виникає в середовищі при розподілі ультразвуку і представляє собою ефективний засіб перетворення енергії звукової хвилі низької щільності в енергію високої щільності, пов'язаний з пульсаціями і лопанням кавітаційних бульбашок [15].

Було проведено дослідження залежності ПУЗ від тривалості збивання білків в стандартних умовах та в полі УЗ. Результати представлено на рис. 5.

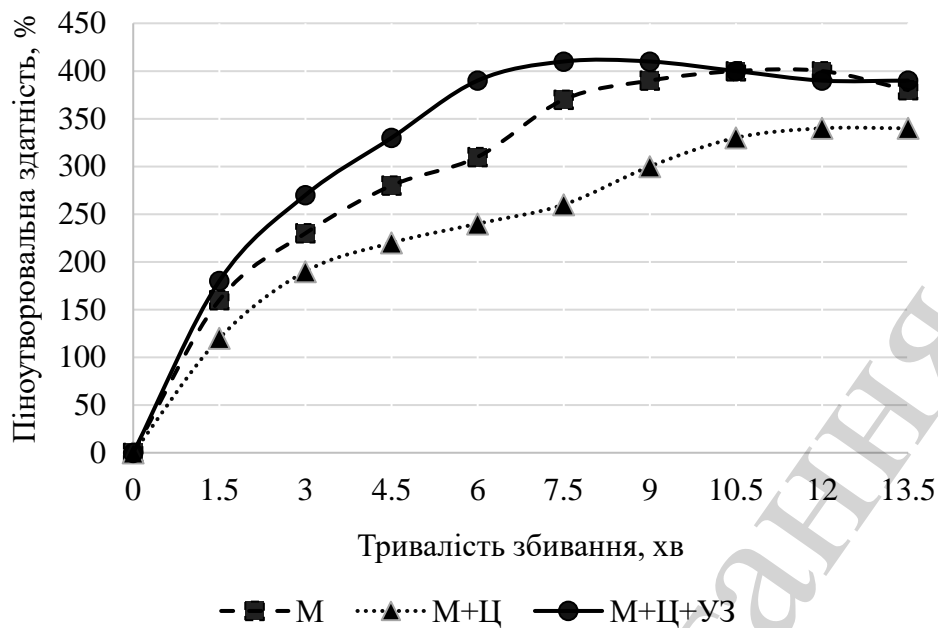


Рис. 5. ПУЗ білків в залежності від тривалості збивання: М – меланж, М+Ц – меланж з додаванням цукру, М+Ц+УЗ – меланж з додаванням цукру та дією УЗ

З рис. 5 видно, що максимальне значення ПУЗ для зразку меланж+цукор+УЗ було на 35 % більше в порівнянні зі зразком меланж+цукор. Крім того спостерігається значне скорочення часу піноутворення зразку меланж+цукор з використанням УЗ. Так, максимальне значення ПУЗ даного зразку було досягнуто вже на 7-й хв збивання яєчно-цукрової суміші, тоді як максимальне значення ПУЗ для зразку меланж+цукор встановлювалося після майже 12 хв збивання.

Наступним етапом дослідження було встановлення оптимальних параметрів УЗ впливу на яєчно-цукрову суміш, шляхом математичного планування. Керуючими факторами були: тривалість збивання меланжу, хв (X_1), температура води в УЗ ванні, °C (X_2), та потужність УЗ, кВт (X_3). Критерієм оптимізації було обрано ПУЗ (Y). Матриця експерименту наведена в табл. 1.

Таблиця 1
Діапазони факторного простору

Рівень та крок варіювання	X_1 , хв	X_2 , °C	X_3 , кВт
Нульовий рівень	7	24	0,6
Інтервал варіювання	2	3	0,2
Верхній рівень	9	28	0,8
Нижній рівень	5	20	0,4

За критерій оптимальності в даному експерименті було обрано один з вихідних параметрів, що характеризує якість готової продукції при умові, що всі інші фактори, які впливають на цей показник, в досліді будуть належати допустимим діапазонам значень. Виходячи з плану експерименту нами було проведено ряд модельних дослідів та визначено ПУЗ кожного зразка.

В результаті оброблення початкового і статистичного матеріалу за допомогою «Статистика 2010» отримали рівняння регресії в кодованому виді та знайшли значення повнофакторної функції регресії виду:

$$Y = 176,67 + 29,21 \times X_1 + 3,25 \times X_2 + 144,91 \times X_3 - 0,02 \times X_1 \times X_2 - 2,31 \times X_1 \times X_3 - 0,38 \times X_2 \times X_3 - 1,71 \times X_1^2 - 0,05 \times X_2^2 - 82,30 \times X_3^2$$

Множинний коефіцієнт детермінації $R^2=0.62$. Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що найбільший вплив на ПУЗ має тривалість збивання суміші. На рис. 6 наведена графічна інтерпретація обчислювального експерименту.

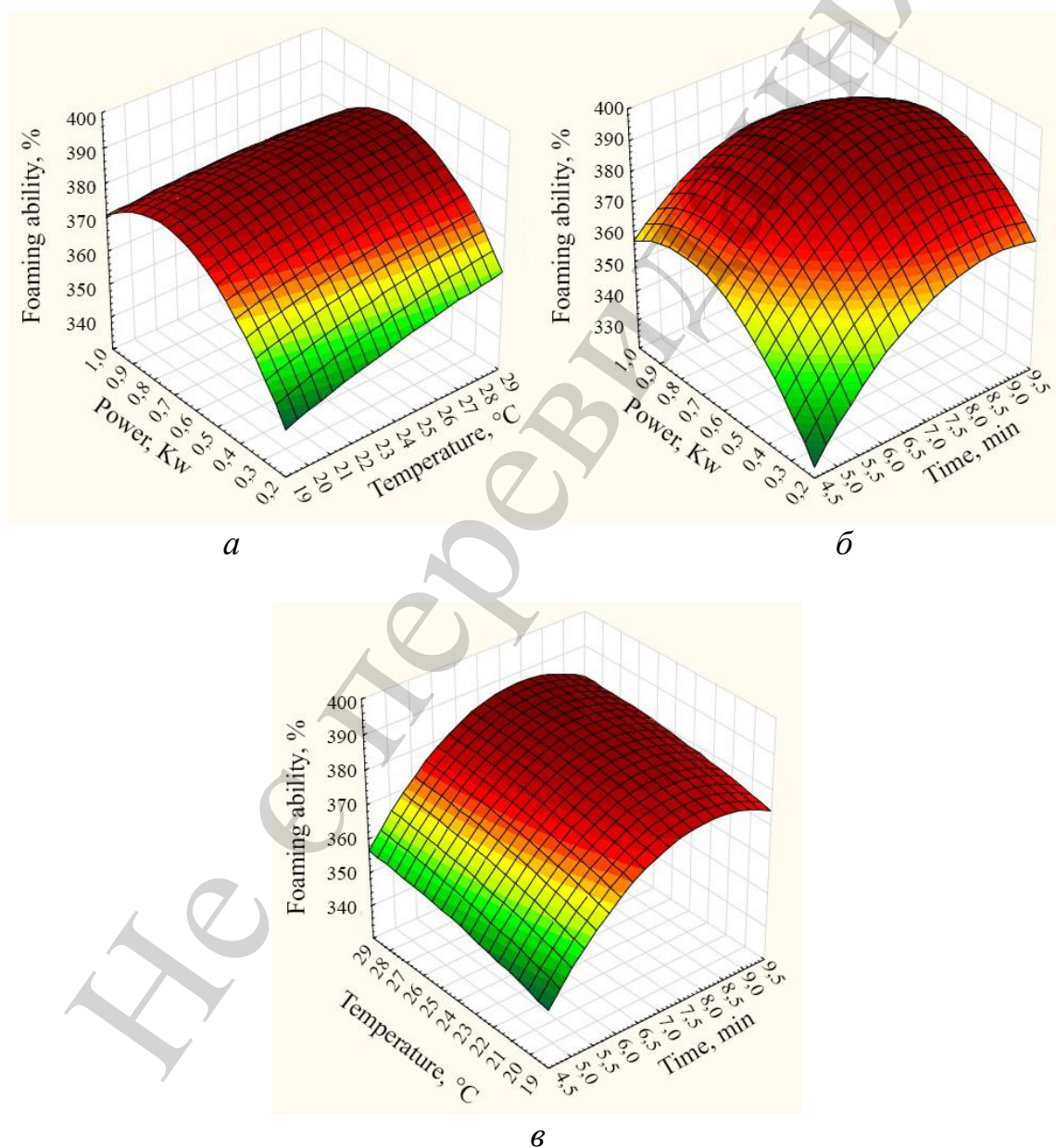


Рис. 6. Поверхні відгуку: а – залежність пористості від потужності УЗ та температури збивання; б – залежність пористості від потужності УЗ від потужності УЗ та тривалості збивання; в – залежність пористості від температури та часу збивання

Вигляд поверхонь відгуку свідчить про стабільність одержаних результатів. Високе значення ПУЗ може бути одержано широким спектром параметрів технологічного процесу. За результатами математичних розрахунків визначено:

- оптимальну потужність УЗ – 0,6 кВт;
- оптимальну температуру води в УЗ ванні – 26°C;
- оптимальний час збивання меланжу з цукром – 6,5 хв.

5. 3. Результати досліджень впливу ультразвуку на стійкість та структуру яєчно-цукрової піни

Стійкість піни – це здатність зберігати загальний об'єм, дисперсний склад і перешкоджати синерезису. Стійкість піни характеризується періодом її напіврозпаду, тобто часом, необхідним для руйнування половини об'єму піни. Результати досліджень стійкості піни дослідних зразків наведено на рис. 7.

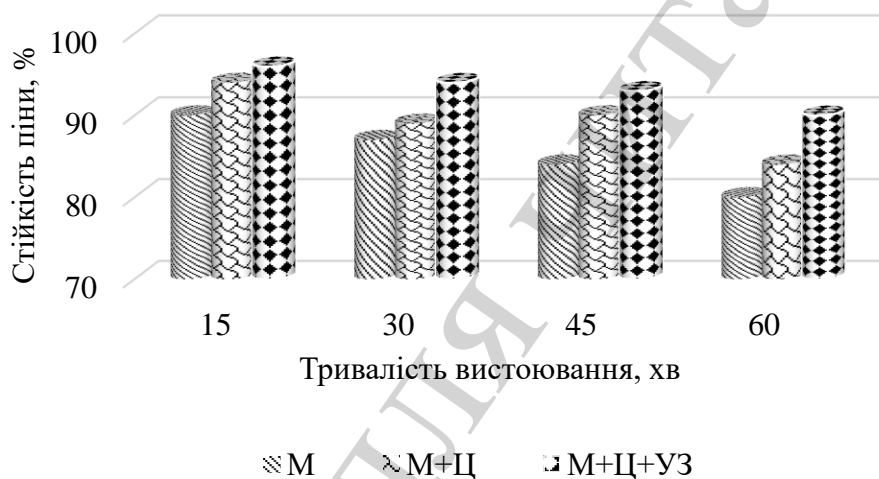


Рис. 7. Стійкість піни: М – меланж, М+Ц – меланж з додаванням цукру, М+Ц+УЗ – меланж з додаванням цукру та дією УЗ

Встановлено, що зразок меланжу з додаванням цукру, що збивали в умовах УЗ, характеризується підвищеною стійкістю в порівнянні зі зразком без дії УЗ та меланжу без цукру.

Стабільність піни на пряму залежить від її дисперсності, яка може бути задана середнім розміром бульбашки, розподілом бульбашок за розмірами або поверхнею розділу «розчин – газ» в одиниці об'єму піни. Для визначення структури та дисперсності пін, отриманих в процесі збивання меланжу, меланжу з додаванням цукру та меланжем з цукром і дією УЗ, проводили мікроскопію. Мікрофотографії наведені на рис. 8.

На підставі досліджень доведено, що структура піни меланжу з цукром, що піддавалися дії УЗ змінилася, в порівнянні з меланжем без цукру та меланжем з додаванням цукру, при цьому частина бульбашок зменшилася в розмірі. Дія УЗ на яєчно-цукрову суміш (рис. 6, в) забезпечувала отримання піни, майже з рівномірними однаковими бульбашками невеликого розміру, розташованими близько один до одного. Дисперсійне середовище здатне утримувати більшу кількість пухирців

повітря, запобігаючи коалесценції системи, а отже, збільшується його в'язкість. Підвищення в'язкості рідини під дією УЗ позитивно впливає на розтяжність плівок, що дозволяє збільшити об'єм повітряної фази у системі. Товщина плівок зменшується, але вони набувають міцності, про що свідчать дані про стабільність піни у часі.

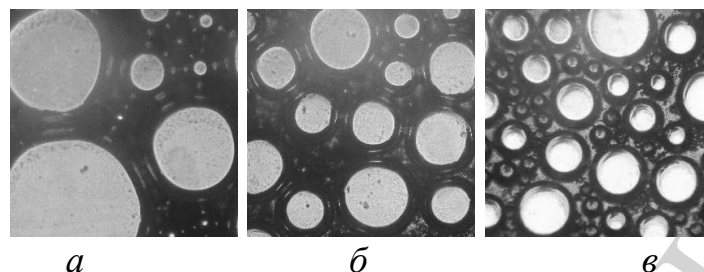


Рис. 8. Мікроструктура досліджуваних зразків: *а* – меланжу; *б* – меланжу з додаванням цукру; *в* – меланжу з додаванням цукру та дією УЗ

З отриманих даних можна стверджувати, що збивання яєчно-цукрової суміші в діючому полі УЗ призводитиме до прискорення процесу отримання бісквітних напівфабрикатів (за рахунок скорочення тривалості збивання меланжу), а також можна спрогнозувати отримання виробів з більшою пористістю і відповідно питомим об'ємом.

Тому наступним етапом було проведення досліджень зміни фізико-хімічних показників якості готових виробів. Дані щодо коефіцієнту підйому та пористості досліджуваних зразків наведено на рис. 8.

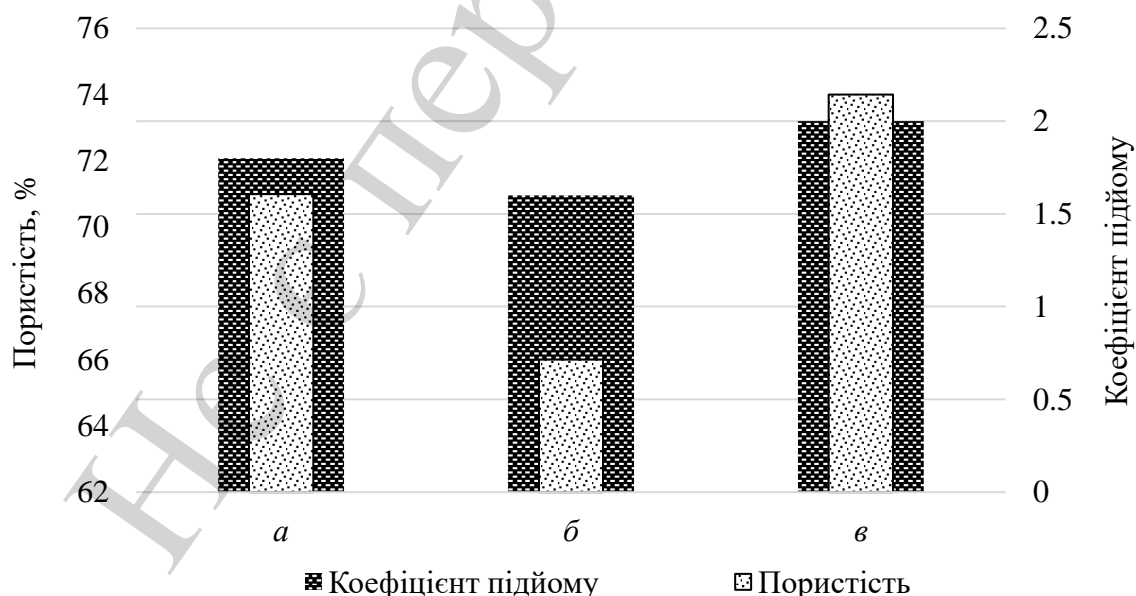


Рис. 8. Фізико-хімічні показники якості бісквітних напівфабрикатів: *а* – Контроль (збивання яєчно-цукрової суміші з попереднім відокремленням білків від жовтків); *б* – Зразок 1 (збивання яєчно-цукрової суміші в 1 етап); *в* – збивання меланжу з цукром в полі УЗ

Таблиця 2

Результати органолептичної оцінки бісквітних напівфабрикатів, бал

Показник	Коефіцієнт вагомості	Контроль	Зразок 1	Зразок 2
Зовнішній вигляд:				
Форма виробу, стан поверхні	0,5	5	5	5
Колір кірки	0,3	5	5	5
Стан м'якуша:				
Характер пористості	0,4	4	3	5
Колір м'якуша	0,3	5	5	5
Еластичність	0,5	4	3	5
Аромат (запах)	0,8	5	5	5
Смак	0,8	5	5	5
Розжовуваність	0,4	5	5	5
Загальна кількість балів:		38	36	40

Аналіз даних рис. 8 свідчить, що показник пористості зростає на майже на 7,5 % в порівнянні з контрольним зразком, випеченим за класичною технологією [12], та на 11 % в порівнянні зі зразком, де збивання яєчно-цукрової суміші відбувалося без попереднього розділення на білки і жовтки.

У вигляді табл. 2 представлена підсумкова оцінка повної характеристики органолептичних показників досліджуваних зразків за рівнем якості, з урахування коефіцієнту вагомості. Контрольним зразком був бісквітний напівфабрикат, збивання яєчно-цукрової суміші для якого здійснювали з попереднім відокремленням білків від жовтків. Для дослідного зразку 1 – збивання яєчно-цукрової суміші проводили в 1 етап, без попереднього розділення яєць на білки і жовтки. Для зразку 2 – збивання меланжу з цукром проводили за запропонованою технологією, в полі УЗ.

За результатами органолептичної оцінки вище зазначених зразків бісквітних напівфабрикатів складена профілограма по 5-бальній оцінковій шкалі (рис. 9).

В результаті проведеної органолептичної оцінки встановлено, що бісквітні напівфабрикати, приготовані на основі яєчно-цукрової суміші, що готувалася в один етап (зразок 1), поступаються контрольному зразку за показниками пористість та еластичність м'якушки. Бісквіти, приготовані за запропонованою технологією (зразок 2), мали більш рівномірну, тонкостінну, еластичну м'якушку, порівняно зі зразком 1 та контрольним.

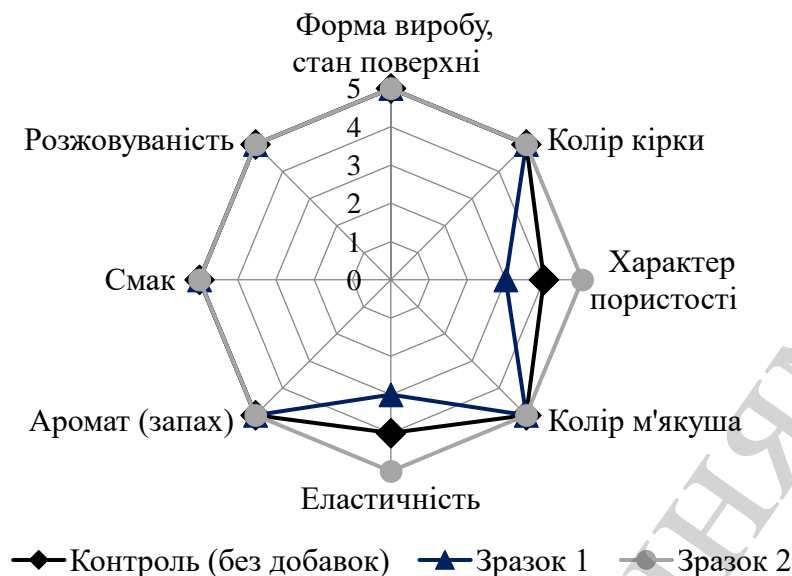


Рис. 9. Профілограма органолептичних показників якості бісквітних напівфабрикатів

6. Обговорення результатів дослідження можливості використання ультразвуку в технології бісквітних напівфабрикатів

Підвищення ПУЗ і скорочення часу піноутворення під дією УЗ (рис. 5) можна пов'язати більш інтенсивним процесом денатурації білка. Вважаємо, що УЗ впливає на білкову молекулу і відбувається розрив білкових ланцюгів на фрагменти, які більш рівномірно розподіляються на поверхні розподілу фаз вода-повітря, тим самим сприяють поліпшенню об'єму і стійкості яєчної піни.

Вплив додавання цукру до меланжу проявляється у зв'язуванні ним вологи і відповідному підвищенні в'язкості системи, що ведуть до покращення показника стійкості піни (рис. 7). Руйнування ж піни обумовлене витіканням розчину з тонких плівок, які поділяють бульбашки повітря, і їх коалесценцією. Не виключено, що підвищена стійкість піни в яєчно-цукровій системі обумовлена дегідративним ефектом цукрози на білок.

Можна припустити, що на підвищення пористості готових виробів (рис. 8) вплинуло явище акустичної кавітації, обумовлене короткочасними імпульсами, що виникають при лопанні кавітаційних бульбашок і виникненням мікропотоків поблизу них, що в свою чергу сприяє більш рівномірному розподілу газів і парів в тісті.

Отримані результати досліджень дозволяють стверджувати про перспективність використання УЗ в технології борошняних кондитерських виробів, зокрема бісквітних напівфабрикатів.

Запропоновану технологію доцільно впроваджувати в умовах невеликих виробництв, наприклад, закладів ресторанного господарства. В масштабах великого виробництва постає проблема пошуку та підбору УЗ обладнання, що здатне забезпечити виробництво значних об'ємів БКВ.

В подальших дослідженнях доцільно провести визначення впливу УЗ на в'язко-пластичні показники бісквітного тіста та термін збереження свіжості готовими напівфабрикатами.

7. Висновки

1. Проведеними дослідженнями встановлено позитивний вплив УЗ на ПУЗ яєчно-цукрової суміші бісквітного тіста, стійкість піни та її дисперсність. Завдяки цьому можна стверджувати, що використання УЗ в технології бісквітних напівфабрикатів сприяє: скороченню тривалості піноутворення яєчно-цукрової суміші майже у 2 рази; дає змогу збивати всі компоненти одночасно, що значно знижує трудоемність процесу виробництва бісквітів.

2. Визначено оптимальні параметри збивання яєчно-цукрової суміші бісквітного тіста в умовах УЗ: потужність ультразвуку – 0,6 кВт, температура води в ультразвуковій ванні – 26 °С, час збивання меланжу з цукром – 6,5 хв.

3. Особливості формування структури м'якуша готових бісквітних напівфабрикатів, тісто для яких готували за запропонованою технологією, полягають у підвищенні пористості та питомого об'єму готових виробів та більш рівномірному розподілу пор. При цьому показник пористості зростає на майже на 7,5 % в порівнянні з контрольним зразком, та на 11 % в порівнянні зі зразком, де збивання яєчно-цукрової суміші відбувалося без попереднього розділення на білки і жовтки. Це дозволяє стверджувати про ефективність запропонованого методу збивання яєчно-цукрової суміші для бісквітного тіста.

Література

1. Campbell, G. (1999). Creation and characterisation of aerated food products. *Trends in Food Science & Technology*, 10 (9), 283–296. doi: [https://doi.org/10.1016/s0924-2244\(00\)00008-x](https://doi.org/10.1016/s0924-2244(00)00008-x)
2. Красильников, В. А. (1960). Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. М., 352.
3. Tabatabaie, F., Mortazavi, A., Ebadi, A. G. (2009). Effect of Power Ultrasound and Microstructure Change of Casein Micelle in Yoghurt. *Asian Journal of Chemistry*, 21 (2), 1589–1594.
4. Mei, J., Feng, F., Li, Y. (2017). Effective of different homogeneous methods on physicochemical, textural and sensory characteristics of soybean (*Glycine max*L.) yogurt. *CyTA – Journal of Food*, 15 (1), 21–26. doi: <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1197315>
5. Семенов, А. А. (2009). Использование ультразвука при производстве мясопродуктов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 5, 15–16.
6. Alarcon-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodriguez, J. C., Paniwnyk, L., Mason, T. J. (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat Science*, 107, 86–93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.04.015>
7. Khandpur, P., Gogate, P. R. (2015). Effect of novel ultrasound based processing on the nutrition quality of different fruit and vegetable juices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 125–136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.008>

8. Sheikholeslami, Z., Mortazavi, S. A., Pourazarang, H., Nasiri, M. (2010). The effect of ultrasound on dough rheological properties and bread characteristics of wheat damaged by wheat bug. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 7 (2), 39–49.
9. Антупьев, В. Т., Иванова, М. А. (2011). Влияние ультразвука на выпечку мелкоштучных хлебобулочных изделий. *Хлебопродукты*, 5, 50–51.
10. Hokmabadi, F., Arianfar, A., Sheikholeslami, Z. (2015). The Effect of Ultrasonic Waves on the Qualitative Properties of Cupcake Containing Triticale Flour and Tragacanth Gum. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 4, 240–244.
11. Stefanović, A., Jovanović, J., Dojčinović, M., Lević, S., Žuža, M., Nedović, V., Knežević-Jugović, Z. (2014). Impact of high-intensity ultrasound probe on the functionality of egg white proteins. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 215–224.
12. Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания (2017). СПб.: Троицкий мост, 194.
13. Дробот, В. І. та ін. (2006). Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв. К.: Центр навчальної літератури, 341.
14. Зубченко, А. В. (2001). Физико-химические основы технологии кондитерских изделий. Воронеж, 389.
15. Leighton, T. G. (1994). *The acoustic bubble*. Academic press, 640. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-441920-9.x5001-9>